

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСКАЖЕНИЙ В СИММЕТРИЧНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПАРЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

¹Шестаков А.П.,

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия (620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Аннотация: Настоящая статья посвящена описанию методики моделирования искажений в симметричных линиях передач, используемых в системах связи построенных на основе стандарта ГОСТ Р 52070-2003 на основе проведенных измерений. Приведена методика моделирования искажений в программной среде NI AWR Design Environment. Производится разбор этапов построения модели.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, искажения сигнала, линия передачи, симметричная линия передачи

METHOD OF MODELING DISTORTIONS IN SUMMETRIC DIFFERENTIAL LINE BASED ON PRIOR MEASUREMENTS

¹Shestakov A.P.,

¹Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia (620000, Russia, Yekaterinburg, Mira street, 19)

Abstract: This article is dedicated to the describe method of modeling of signal distortion in symmetric transmission lines in systems build upon standard GOST R 52070-2003 based on prior measurements. Method of modeling distortions in NI AWR Design Environment been presented. An extensive explanation of modeling process is given.

Key words: electromagnetic compatibility, signal distortion, transmission line, symmetric transmission line

Введение

В различных системах, физическая связь между частями системы осуществляется при помощи кабельной сети, в типичной конфигурации, связывающей исполнительные части системы с датчиками и управляющими устройствами. В системах, основанных на стандарте передачи ГОСТ Р 52070-2003 в качестве физической среды используются экранированные витые пары.

Цифровые сигналы обладая резкими фронтами обладают значительным числом гармонических составляющих на частотах кратной основной частоте сигнала, и для достаточно протяжённых линии, т.е. в, линиях длиной много больше длины волны на рабочей частоте сигнала (электрически длинная линия) характерно появление эффектов вызванных электромагнитной структурой линий, и при наличии некоторых ошибок в

построении системы, линия передачи может вносить искажения в форму сигнала передаваемого сообщения.

Частой причиной появления искажений является рассогласование, вызванное наличием отражений сигнала, вызванных наличием неоднородностей в самой линии, так и разницей входного сопротивления приборов и характеристического сопротивления линии.

Для этого используются согласующие устройства, в рассмотренном случае согласующие резисторы, сопротивление которых выбирают равным характеристическому сопротивлению линии, в низкочастотных системах, как рассматриваемая, устанавливаются только на конечных устройствах, сопротивление же не конечных устройств выбирается заведомо много больше чем характеристическое сопротивление линии.

Использование согласующих резисторов решает проблему частично, выполняя согласование только на одной конкретной частоте – частоте на которой комплексное характеристическое сопротивление линии равно комплексному сопротивлению согласующего устройства. Стоит отметить, что характеристическое сопротивление линии, является частотно зависимым параметром и помимо всего обладающим значительной реактивной составляющей на низких частотах. Другой причиной искажений являются особенности реализации выходных каскадов приёмно-передающих модулей связи, формирующих цифровой сигнал.

В данной статье описана методика моделирования искажений в симметричных линиях передачи, основанных на стандарте передачи ГОСТ Р 52070-2003 на основе экспериментальных данных. Для моделирования используется среда NI AWR Design Environment. Производится разбор этапов построения модели на основе выполненных измерений реально действующей системы передачи данных.

Основные измерения производились на векторном анализаторе цепей Rode&Swartz ZNB4 в четырёх портовом исполнении.

Получение экспериментальных данных

Для построения модели искажений требуется произвести измерение зависимости S-параметров отрезка линий от частоты.

Измерение S - параметров линии должно производиться на векторном анализаторе спектра с максимальной частотой не ниже 100 МГц, для измерения также требуется 4-е измерительных порта для полноценного подключения симметричной линии. Для этого использовался векторный анализатор цепей ZNB4 с полосой от 9 кГц до 4,5 ГГц в четырех портовом исполнении.

Для измерения симметричной линии передачи может использоваться прибор с симметричным подключением (портами), так как такие приборы являются редкостью, измерения обычно проводят с прибором с несимметричным подключением (порты на коаксиал), затем производят переход от несимметричных портов измерительного прибора к симметричным.

Переход в простейшем случае может быть осуществлен согласующей схемой с использованием двух согласующих трансформаторов, но, так как введение дополнительных схемных решений вносит дополнительные погрешности, особенно при использовании трансформаторов (имеют ограниченную полосу пропускания и сами вносят искажения), то переход выполняют математически.

Векторный анализатор цепей аналогичный ZNB4 производит данное преобразование автоматически после настройки с использованием математического аппарата, описанного в [1] и [2].

Результат измерения ZNB4 выражается в наборе матриц (4 комплексных числа) заданных для каждой из частот на которой производилось измерение:

- Sdd – S параметры линий в симметричном режиме (differential-differential)
- Scc – S параметры линии в не симметричном режиме (common-common)
- Sdc, Scd – S параметры, задающие связь между симметричными и не симметричными параметрами, т.е. паразитное возбуждение не симметричного возбуждения при симметричном возбуждении линии, и обратное.

Данные параметры носят название «смешенных параметров» (Mixed-Mode Parameters [5]). В полном виде эти параметры полностью описывают симметричные линии связи. В приведенной модели используется только матрица Sdd, наличие паразитных Scd, Sdc (переход из не симметричного в симметричный режим передачи и обратно) учитывается только в наличии ослабления в матрице Sdd.

На Рисунке 1 приведен процесс конфигурации измерительного прибора при подключении симметричных и не симметричных линий.

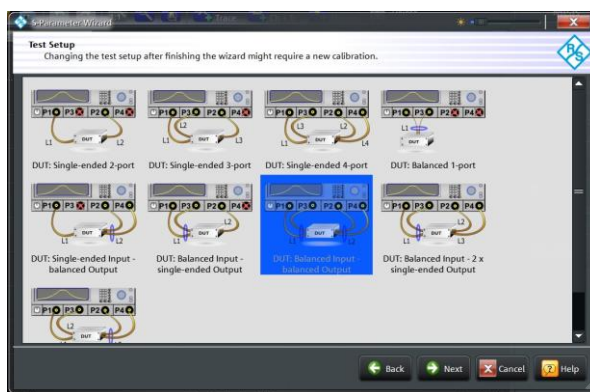


Рисунок 1 - Окно выбора конфигурации логических портов измерительного прибора.

Для требуемого перехода требуется задать опорный импеданс логического порта в дифференциальном и синфазном режиме. В синфазном режиме опорный входной импеданс выбирается в два раза меньше чем характеристическое сопротивление линии, в дифференциальном режиме выбирается в два раза больше чем характеристическое сопротивление линии, т.е. для витой пары с характеристическим сопротивлением 75 Ом, входной импеданс в дифференциальном режиме должен быть выставлен в 150 Ом, в синфазном режиме в 25 Ом. См. рисунок 2.

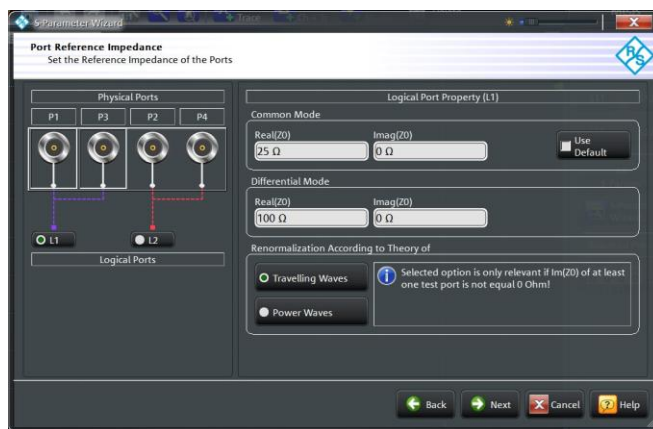


Рисунок 2 - Окно настройки параметров перехода от не симметричных портов прибора к симметричным логическим.

Калибровка измерительного прибора

Перед каждым измерением, требуется произвести калибровку с использованием наборов пробников для компенсации внутренних погрешностей прибора и смещения плоскости порта (компенсация длины измерительных кабелей, подробнее рассмотрена в [3]), калибровка производится на концах линий прибора. Для измерений с использованием нескольких портов, калибровка должна быть проведена для каждого из портов, и всех сочетаний подключений на проход.

Из всех режимов для много-портовых измерений наиболее точными и трудоёмкими являются TOSM и UOSM, которые и должны использоваться. Более подробное описание процесса калибровки, режимов калибровки описано в [4].

Экспериментальные данные в формате Touchstone (известный как *.SnP файл). Представляют из себя табличные значения S параметров от частоты n-полюсника.

Touchstone является де-факто индустриальным стандартом для программ моделирования и измерительной аппаратуры и стандартизирован в спецификации. Ограничением данного формата является возможность представления только линейных устройств.

Экспериментальная модель.

Данные с ZNB4 в формате Touchstone экспортируются в среду разработки NI AWR Design Environment.

Экспериментальная модель, построенная в программе с использованием данных с ZNB4 приведена на рисунке 3:

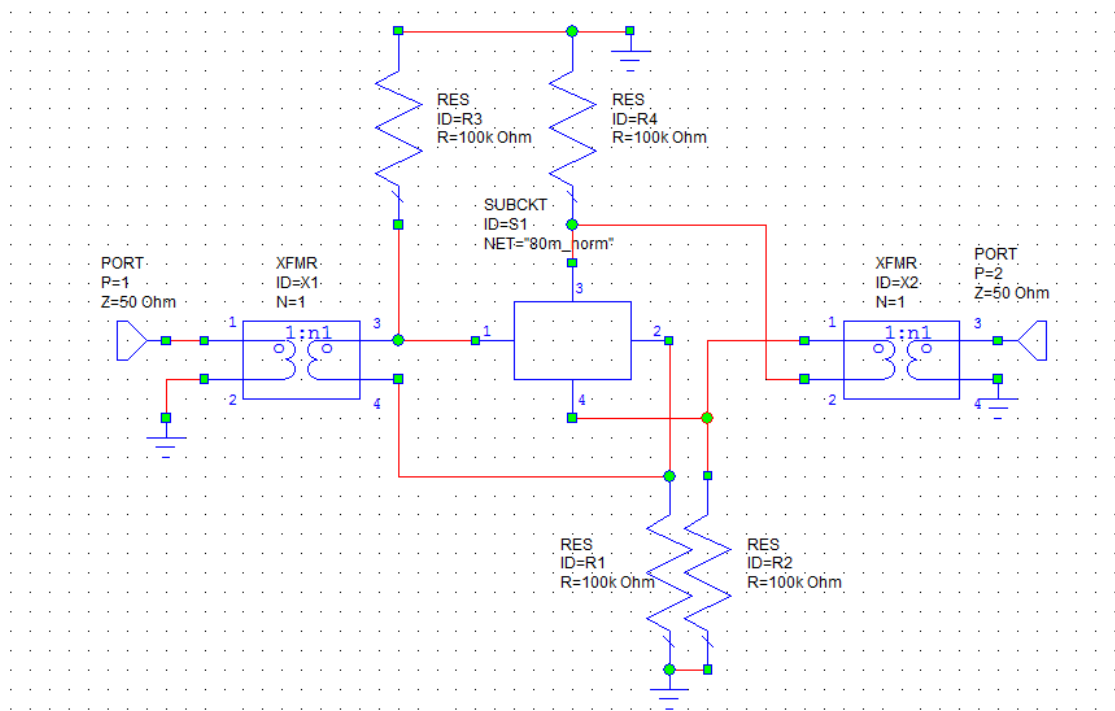


Рисунок 3 – Модель на базе экспериментальных данных.

Подключение, с использованием двух идеальных симметричных трансформаторов необходимо для перехода от не симметричных портов к симметричным, которые являются основными в программной среде. Кроме того, обеспечивается возбуждение модели линии дифференциальном режиме. Блок SUBCKT связан с измеренными экспериментальными данными. Среда автоматически производит интерполяцию промежуточных значений.

Резисторы R1-R4 необходимы для задания опорного уровня земли, так как цепи до и после трансформаторов гальванически не связаны, для схемного решателя (как и в других средах моделирования, таких как PSpice) требуется задать опорный нулевой уровень земли. Значения резисторов выбраны относительно большими (100 кОм) что минимизирует их влияние на работу схемы.

Параметрическая модель

Другим способом задания частотно зависимых характеристик линии в системе AWR-DE подходящей для данной задачи, является частотно зависимое задание погонных емкости (C), индуктивности (L), проводимости (Y), сопротивления (R), и известной длины линии. Набор компонентов на основе эквивалентных цепей на сосредоточенных элементах расположены на вкладке RLGC в панели Elements среды моделирования.

Для параметрического моделирования симметричной линии использована встроенная модель RLGC_Tx4 – модель симметричной линии передачи. Модель задается набором погонных R, L, G, C параметров на заданных частотах.

Модель показана на рисунке 4:

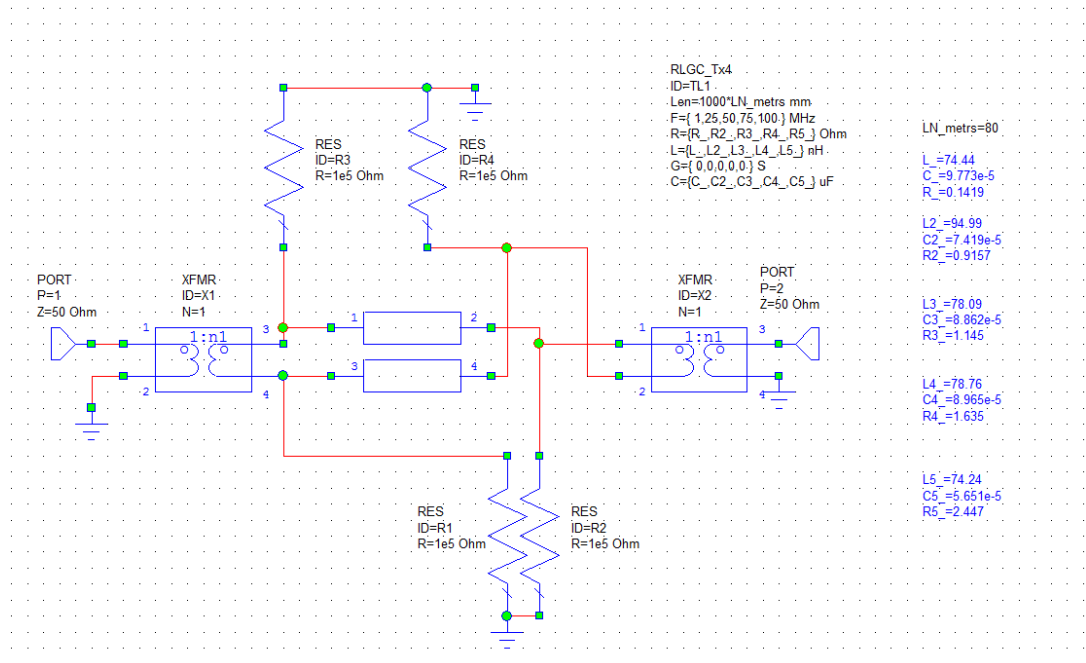


Рисунок 4 – Параметрическая модель.

Параметры параметрической модели

Модель, приведенная на рисунке 3 основывается на табличных значениях, простая работа с которыми не возможна, т.е. нельзя промоделировать модель линии с длиной отличной от измеренной. Для того что бы снять данное ограничение, используется встроенный в среду оптимизатор, для получения параметров параметрической модели эквивалентных модели на базе экспериментальных данных

Для того что бы свести две разные модели необходимо минимизировать разницу между значениями фазы и модуля коэффициента передачи в заданном диапазоне частот. Для этого используем встроенные возможности в среду AWR-DE по постобработке полученных значений (модуль Output Equations) Задание целевой функции приведено на рисунке 5:

$$\begin{aligned}
 A &= \text{LINE_M:}|S(2,1)| \\
 B &= \text{LINE_M_RGCL:}|S(2,1)| \\
 \\
 \text{Angl} &= \text{LINE_M:AngU}(S(2,1)) \\
 \text{Bngl} &= \text{LINE_M_RGCL:AngU}(S(2,1)) \\
 \\
 \text{OUTPUT} &= A-B \\
 \text{OUTPUT1} &= \text{Angl} - \text{Bngl}
 \end{aligned}$$

Рисунок 5 – Задание целевой функции как разницы модуля и фазы коэффициента передачи двух моделей.

В качестве параметров для оптимизации были выбраны погонные RCLY параметры, взятые на 5-и частотах, 1,25,50,75,100 МГц.

Ход оптимизации показан на рисунке 6:



Рисунок 6 – Запуск оптимизатора.

Оптимизация проводилась для минимального числа переменных, так как увеличение их числа ведёт к уменьшению адекватности модели при изменении ее параметров (в данном случае, при варьировании длины линии).

Для улучшения параметров модели в процессе оптимизации использовалось два набора данных: одна линия с разными погонными длинами линии

Сравнение модуля и фазы коэффициентов передачи приведены двух моделей после оптимизации приведены на рисунках:

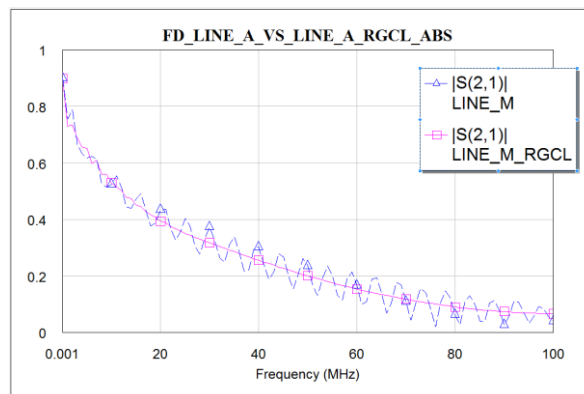


Рисунок 7 – Сравнение модуля коэффициента передачи параметрической модели (красная линия) и экспериментальной модели от частоты.

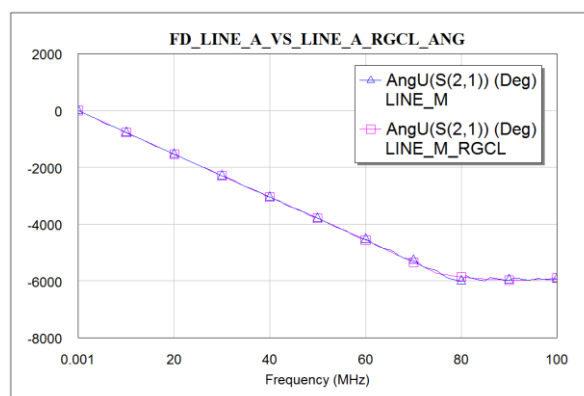


Рисунок 8 – Сравнение фазы коэффициента передачи параметрической модели (красная линия) и экспериментальной модели от частоты.

Искажения в линии

Для того что бы получить наглядное представление о искажениях, происходящих в линии необходимо выполнить моделирование во временной области для этого использовался модуль VSS среды AWR-DE. На рисунке 9 приведен вид искажении возникающих в тестовом сигнале при прохождении через линию. Фронты сигнала соответствует принятым в стандарте ГОСТ Р 52070-2003:

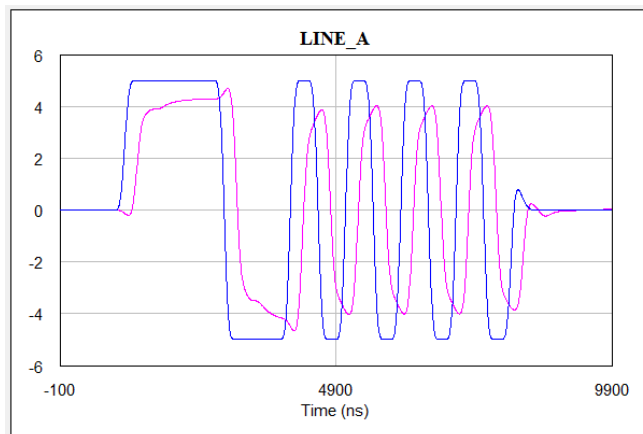


Рисунок 9 – Прохождение сигнала через модель линии (Синим цветом - исходный сигнал, Красным цветом – сигнал с искажениями, вызванными прохождением через линию).

Сравнение модели на основе экспериментальных данных с параметризованной моделью приведена на рисунке 10:

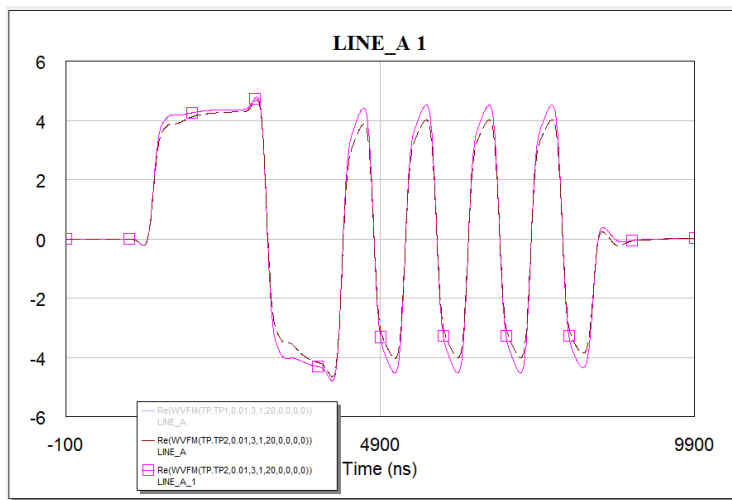


Рисунок 10 – Прохождение сигнала через модель линии (Синим цветом – модель на основе экспериментальных данных, Красным цветом – параметризованная модель после оптимизации).

Выводы

В статье искажении описана методика моделирования искажений в симметричных линиях передачи в среде AWR-DE. Описаны особенности настройки измерительного оборудования. Описан процесс получения параметрической модели на основе полученных табличных данных. Полученные результаты могут быть в дальнейшем использованы для построения моделей сложных систем передачи, выявления в данных системах узких мест, поиска путей решения проблем.

Параметрическая модель позволяет свободно варьировать часть параметров, что дает возможность поиска оптимальных конфигурации в системах с разветвлённая кабельная

сеть, где присутствуют отражения от множества отрезков линии с различными комбинаторными сочетаниями.

Список литературы

1. Kurokawa K. Power waves and the scattering matrix //Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. – 1965. – Т. 13. – №. 2. – С. 194-202.
2. Bewley L. V. Traveling waves on transmission systems //American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the. – 1931. – Т. 50. – №. 2. – С. 532-550.
3. Rautio J. C. A de-embedding algorithm for electromagnetics //International Journal of Microwave and Millimeter-Wave Computer-Aided Engineering. – 1991. – Т. 1. – №. 3. – С. 282-287.
4. Hiebel M. Vector network analyzer (VNA) calibration: the basics //White Paper. – 2008.
5. Ferrero A., Pirola M. Generalized mixed-mode S-parameters //Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. – 2006. – Т. 54. – №. 1. – С. 458-463.